Druckverschiebungen in Eisenmultipletts Vergleich zweier unabhängiger Messmethoden

---

Inauguraldissertation

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde
vorgelegt der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung
der Philosophischen Fakultät der Universität Basel

von

Erwin Beglinger
aus Mollis (Kt. Glarus)

BASEL
Buchdruckerei Emil Birkhäuser & Cie.
1934

Druckverschiebungen in Eisenmultipletts Vergleich zweier unabhängiger Messmethoden

Inauguraldissertation

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde
vorgelegt der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung
der Philosophischen Fakultät der Universität Basel

von

Erwin Beglinger
aus Mollis (Kt. Glarus)

BASEL
Buchdruckerei Emil Birkhäuser & Cie.
1934

Genehmigt von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der philosophischen Fakultät auf Antrag der Herren Professoren Dr. A. HAGENBACH und Dr. H. ZICKENDRAHT.

Basel, den 21. November 1933.

Prof. Dr. M. REINHARD
Dekan.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck aus Helvetica Physica Acta, VII. Jahrgang, Nr. 2, 1934.

Druckverschiebungen in Eisenmultipletts. Vergleich zweier unabhängiger Messmethoden

von **Erwin Beglinger.**

Einleitung.

Eine Zusammenstellung der Literatur über Druckverschiebungsmessungen aus den Jahren 1896—1926 findet sich im Handbuch der Physik[1]). Nicht aufgeführt ist die Arbeit von Gale und Adams[2]), welche eine grosse Anzahl von Druckverschiebungsmessungen am Bogenspektrum des Eisens und am Bogen- und Funkenspektrum des Titans enthält.

Die letzten Druckverschiebungsmessungen an den Bogenlinien des Eisens wurden von H. D. Babcock[3]) im Jahre 1928 ausgeführt. Er misst die Druckverschiebungen von 130 Eisenlinien bei Drucken unter 1 Atm.

---

[1]) Handbuch der Physik, Bd. 21, S. 435.

[2]) Gale und Adams, Astrophys. Journ. **35**, S. 10, 1912.

[3]) Babcock H. D., Astrophys. Journ. **67**, S. 240, 1928.

Von neueren *theoretischen* Arbeiten über den Druckeffekt verdienen die Arbeiten von MARGENAU[1]) und KULP[2]) besondere Beachtung. Die beiden Autoren kommen unabhängig voneinander zu derselben Erklärung der Druckverschiebung. In einer weiteren theoretischen Arbeit aus dem Jahre 1933 behandelt V. WEISSKOPF[3]) die Druckverbreiterung der Spektrallinien und gibt gleichzeitig eine Erklärung für die Druckverschiebung und die Asymmetrie. Die Arbeit von WEISSKOPF enthält am Schluss ein Verzeichnis der Literatur über die theoretische Behandlung des Druckeffektes.

Die in dieser Arbeit zusammengestellten Messungen wurden vorgenommen, um zu prüfen, ob mit Hilfe zweier verschiedener Messmethoden dieselben Resultate erhalten werden können, oder ob ein prinzipieller Unterschied bei der Messung der kleinen Verschiebungsgrössen auftritt. Die Arbeit soll also in erster Linie ein Vergleich zweier Messmethoden sein. Die Messungen wurden an den Linien von Multipletts durchgeführt, um zu prüfen, ob eine Gesetzmässigkeit zwischen den Verschiebungen der einzelnen Linien besteht, und ob diese Gesetzmässigkeit durch beide Messmethoden nachgewiesen werden kann.

I. Beschreibung der benützten Apparate und Methoden.

Das Gitter.

Die vorliegende Arbeit wurde mit dem hiesigen ROWLAND'schen 3 m Konkavgitter durchgeführt, welches von MÖRIKOFER[4]) beschrieben worden ist.

Die Aufnahmen sind in der III. Ordnung gemacht. Bei der Dispersion dieses Gitters entfallen auf 1 mm Breite in der III. Ordnung 1,9 ÅE.

Die *Gitteraufstellung* entspricht der Methode von ABNEY[5]). Als sehr vorteilhaft erwies sich bei meinen Untersuchungen die *Verdunklungseinrichtung.* Sie ist nach den Angaben von Prof. A. HAGENBACH konstruiert und ist im Prinzip dieselbe, wie sie am grossen Gitter des hiesigen Instituts angewandt wurde[6]). Ich konnte beliebig oft die Temperatur an den vielen, im Gitter-

[1]) MARGENAU, Phys. Rev. **40**, S. 387, 1932.
[2]) KULP, Ztschr. f. Phys. **79**, S. 495, 1932.
[3]) WEISSKOPF V., Physik. Ztschr. **34**, 1—24, 1933.
[4]) MÖRIKOFER W., Die Bandenspektren des Al. Dissert., Basel, 1925, S. 40.
[5]) Handbuch der Exp. Physik Bd. 21, S. 302.
[6]) HAGENBACH A., Verh. Nat. Ges. Basel **28**, S. 29—33, 1927.

zimmer aufgehängten Thermometern kontrollieren, ohne dass der Raum, welcher Gitter und photographischer Film enthält, anderes Licht bekam, als dasjenige vom Gitterspalt.

Der *Einfluss* der *Temperatur* auf die Lage der Spektrallinien wurde von Mörikofer[1]) durch einen Kontrollversuch in der I. Ordnung geprüft. Er fand für eine Temperaturänderung von 3,2° eine Verschiebung der Linien um 0,7 bis 0,8 ÅE.

Ich wiederholte den Versuch in der III. Ordnung. An sechs Stellen des Gitterzimmers befanden sich Thermometer. Die Temperaturunterschiede wurden durch einen Ventilator ausgeglichen. Ich erzeugte ein 1. Spektrum durch einen Kobaltbogen und erhöhte nachher die Temperatur im ganzen Raum um 2,0°. Unter genau denselben Versuchsbedingungen wurde der Kobaltbogen zum 2. Mal gezündet und dasselbe Spektrum auf der 2. Hälfte des Filmes erzeugt bei einer, um 2,0° erhöhten Temperatur.

Die Verschiebung der Spektrallinien, durch die Änderung der Temperatur, wurde an 18 Kobaltlinien gemessen. Der Mittelwert der Verschiebung ergab sich in der III. Ordnung für 2,0° Temperaturdifferenz zu 0,016 ÅE. Die Verschiebung geht mit steigender Temperatur gegen violett.

Die *Temperatur* im Gitterzimmer hielt ich bei allen Untersuchungen während der Aufnahmen konstant. Die elektrischen Widerstände befanden sich ausserhalb des Raumes. Bei den Funkenaufnahmen, welche im gesamten bis zu 4 Std. dauerten, war eine Erhöhung der Temperatur um 0,1—0,2° nicht zu vermeiden. Die Verschiebung, welche durch diese kleinen Temperaturänderungen hervorgerufen wird, bleibt aber ohne merklichen Einfluss auf die Grösse der gemessenen Druckverschiebungen, wie später gezeigt wird.

Das Umkehrprisma.

Ein Umkehrprisma (Fig. 1) aus Quarz dreht das Bogenbild um 90°. Das Prisma wurde von der Firma Carl Zeiss nach den Angaben von Prof. A. Hagenbach hergestellt und ist so konstruiert, dass die Wellenlänge λ 3500 ohne Abschattung durchgeht.

Das Prisma wird zwischen Linse und Spalt in den Strahlengang eingeschaltet. Dadurch kommt das Bild des Bogens horizontal auf den vertikalen Gitterspalt zu liegen, und nur ein schmaler Streifen wird durch den Spalt genau aus der Mitte des Bogens ausgeschnitten. Die Einwirkung der Pole auf die Linienverschiebung wird durch diese Anordnung weitgehend eliminiert.

[1]) Mörikofer W., Dissert. Basel, S. 41, 1925.

Der *Prismenhalter* besteht aus einer kreisförmigen Scheibe aus Messing, welche in der Mitte vom Prisma durchbrochen wird. Die Scheibe, welche fest mit dem Prisma verbunden ist, kann ihrerseits in einem halbkreisförmigen Halter mit Gradeinteilung gedreht werden.

Der Druckkessel für den *Bogen* wurde im Jahre 1918 nach den Angaben von Prof. A. Hagenbach konstruiert und von ihm beschrieben[1]).

Als Füllgas verwendete ich für alle Untersuchungen ungetrocknete Luft. Eine Beschreibung der Druckpumpe befindet sich bei Mörikofer[2]).

Als *Druckkessel* für den *Funken* diente ein, von Prof. A. Hagenbach konstruierter und von ihm beschriebener Kessel[3]).

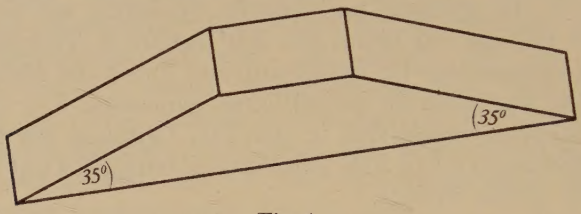

Fig. 1.
Umkehrprisma aus Quarz.

An dem Kessel wurden bereits früher verschiedene Änderungen vorgenommen. Eine Elektrode sitzt am Deckel und kann von aussen senkrecht auf- und abwärts, die andere kann, in Bezug auf das Kesselfenster vor- oder rückwärts bewegt werden. Der Deckel besteht aus einer verstärkten Platte und wird nur noch mit 4 Schrauben befestigt. Ein massiver Eisenbügel dient zur Verstärkung der 4 Schrauben (Fig. 2).

Die Stromzufuhr geschieht seitlich, mit Hilfe von 2 Metallstäben, welche durch konisch geschliffene Hartgummiisolationen durch die Kesselwand geführt werden. Die Abdichtung der Stromzufuhren wird durch starkes Anpressen der Hartgummielektroden erreicht. Der Deckel besitzt eine Gummidichtung.

Als Stromquelle für den Eisenfunken diente das grosse Klingelfuss'sche *Induktorium* von 75 cm Schlagweite. Es wurde mit intermittierendem Gleichstrom, welcher mit einem Leuchtgasunterbrecher gewonnen wurde, betrieben. Die primäre Stromstärke betrug 8 Amp. bei 120 Volt Spannung. Die Sekundärspannung variierte bei Druckaufnahmen von 30000—40000 Volt.

[1]) Hagenbach A., Verh. Nat. Ges. Basel 30, S. 36—42, 1919.
[2]) Mörikofer W., Dissert. Basel 1925, S. 38.
[3]) Hagenbach, A., Phys. Ztschr. **10**, S. 649—657, 1909.

Die *Leydener Flaschen* zur Verstärkung des Funkens konstruierte ich selbst aus alten Weinflaschen, welche mit schwach angesäuertem Wasser gefüllt waren und selbst in einem, mit Wasser gefüllten Bassin standen. Eine Batterie aus 3 parallel geschalteten Flaschen wurde dem Funken parallel geschaltet. Vorversuche ergaben, dass solche Flaschen eine Belastung bis

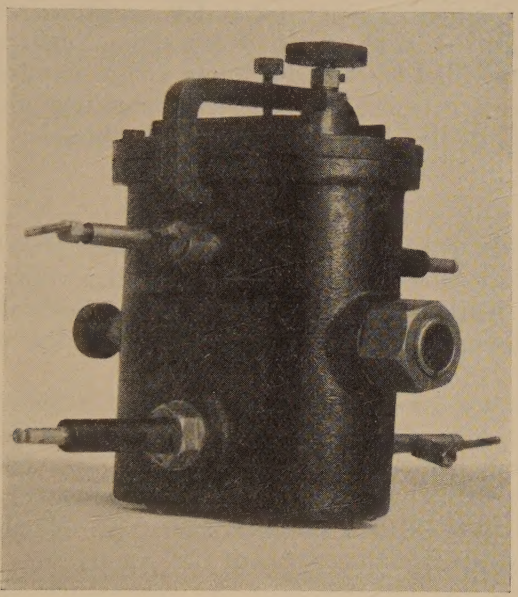

Fig. 2.
Der Funkenkessel.

zu 80000 Volt aushalten. Die Kapazität ist nicht gross, sie beträgt für eine Flasche durchschnittlich 500 cm.

Die Ausmessung der Filme geschah mittels des grossen *Messmikroskops*, welches von Mörikofer[1]) beschrieben wurde und ausserdem mit Hilfe des Moll'schen Registrier-*Mikrophotometers*[2]) von Kipp und Zonen. Das Photometer wurde von Miescher[3]) zum Teil beschrieben. Am Photometer sind im hiesigen Institut verschiedene praktische Neuerungen angebracht worden, welche die Justierung der zu photometrierenden Filme oder

[1]) Mörikofer W., Dissert. Basel 1925, S. 42.

[2]) Das Vakuumthermoelement des Photometers besitzt eine punktförmige Kontaktstelle. Die Einstellzeit des Thermoelements beträgt 0,2 Sek. Das Moll'sche Mikro-Galvanometer braucht für eine volle Schwingung 0,2 Sek.

[3]) Miescher E., Helv. phys. acta **4**, S. 399, 1931.

Platten wesentlich erleichtern. Sämtliche für die Justierung wichtigen Schrauben besitzen Zahlentrommeln. Die Vorrichtung zur Drehung des Filmträgers um die optische Achse wurde bereits von Miescher erwähnt. Der Strom für den Motor, welcher den Filmhalter und die Registriertrommel bewegt, wird durch ein Relais nach der Registrierung automatisch ausgeschaltet.

Als *Aufnahmematerial* verwendete ich Perutz-Persenso-Filme. Mit Hauff-Glycinentwickler behandelt, ergaben die Filme bei grosser Empfindlichkeit scharfe Kontraste. Nach der Fixierung in saurem Fixierbad wurden die Filme 1 Std. gewässert. Bei der Trocknung entfernte ich die Wasseransammlung am frei herabhängenden Ende des Films mit einem Löschpapier.

Der Eisenbogen.

Als Anode wurden Eisenstäbe von 7 mm Durchmesser verwendet. Als Kathode dienten Kohlenelektroden vom selben Durchmesser. Die Kathode befand sich oben, die Anode unten. Durch diese Anordnung wird nach John und Babcock der Poleffekt verkleinert[2]).

Die Stromstärke betrug 8 Amp., die Betriebsspannung 440 Volt bei einer Bogenlänge von 10 mm. Die hohe Spannung war nötig, um das Abreissen des Bogens unter mehreren Atm. Druck zu vermeiden. Es erwies sich als schwierig, den Bogen längere Zeit unter Druck brennen zu lassen. Wenige Sekunden nach der Zündung bildete sich auf der Anode eine Oxydschicht. Der Bogen wurde unruhig und riss schliesslich ab. Die hohe Stromstärke von 8 Amp. war nötig, um eine grössere Intensität zu erzielen und dadurch die Expositionszeit zu verkürzen. Es wurde streng darauf geachtet, dass beim Bogen unter Druck und beim Normalbogen (1 Atm.) genau dieselben Versuchsbedingungen herrschten. Verschieden waren nur die Expositionszeiten.

Expositionszeiten:

Bei hohen Drucken	3 Minuten
Bei 1 Atm.	7 Minuten

Der Vergleichsbogen.

Als Standardlinien dienten die Bogenlinien des Kobalts. Die Anode war aus Kobaltmetall, die Kathode aus Kohle. Die Stromstärke betrug 4,5 Amp., die Spannung 220 Volt.

---

[1]) John Ch. E. St. und Babcock H. D., Astrophys. Journ. 46, S. 138, 1917.

Der Eisenfunke.

Die Anode (die Elektrode, welche mit dem negativen Pol des Induktoriums verbunden ist) wurde durch ein Eisenplättchen von 8 mm Durchmesser gebildet. Die Kathode bestand aus einem 3 mm Kohlenstab, welcher am Ende kugelförmig geschliffen war (Fig. 3).

Die Funkenlänge betrug 4 mm. Das Umkehrprisma drehte das Bild des Funkens um 90°, so dass es horizontal auf den vertikalen Gitterspalt zu liegen kam. Durch Reflexion an der Eintritts-

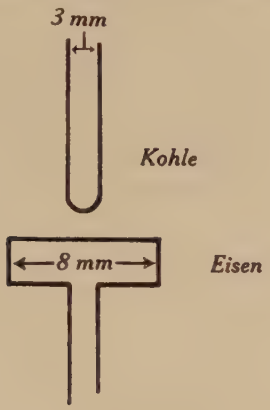

Fig. 3.
Der Eisenfunken.

fläche des Prismas entstand ein Verlust an Strahlungsintensität. Ausserdem ist die Intensität in der Mitte des Funkens bedeutend kleiner als an den Polen.

Die *Expositionszeiten* waren daher gross. Sie betrugen

für Funke unter Druck . . . . 90 Minuten
für Normalfunke . . . . . 120 Minuten

Die elektrischen Widerstände befanden sich ausserhalb des Raumes. Die Temperaturänderung im Gitterzimmer während einer Aufnahme war kleiner als 0,2°.

Der Vergleichsbogen.

Als Vergleichslinien wurden ebenfalls die Linien des Kobalt-Bogens verwendet. Der Kobalt-Bogen brannte während der letzten 5 Minuten der Druckaufnahme und während der ersten 5 Minuten der Aufnahme bei Normaldruck. Er war seitwärts vom Druckkessel montiert. Sein Bild wurde mit Hilfe eines Metallspiegels zu gleicher Zeit mit dem Bild des Funkens auf den Spalt geworfen.

Die photographischen Aufnahmen.

Zwischen Gitter und Kassette, 4 cm vor dem Film, befindet sich eine Blende aus einer Eisenschiene (Fig. 4).
Diese Blende kann in 3 verschiedene Stellungen gebracht werden, so dass nacheinander die beiden Hälften des Films, und am Schluss

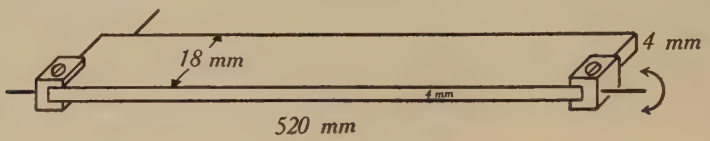

Fig. 4.
Die Blende.

durch Horizontalstellen der Blende beide Filmhälften zu gleicher Zeit beleuchtet werden können.

Fig. 5 zeigt die 3 Stellungen der Blende bei der Herstellung der photographischen Aufnahmen.

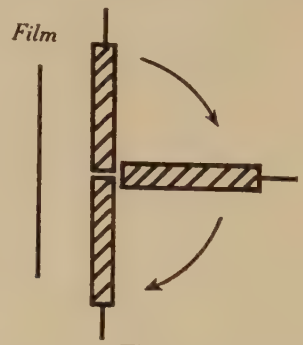

Fig. 5.
Die 3 Stellungen der Blende im Querschnitt.

Das Aussehen der Aufnahmen, fertig zur Messung, ist in Fig. 6 dargestellt.

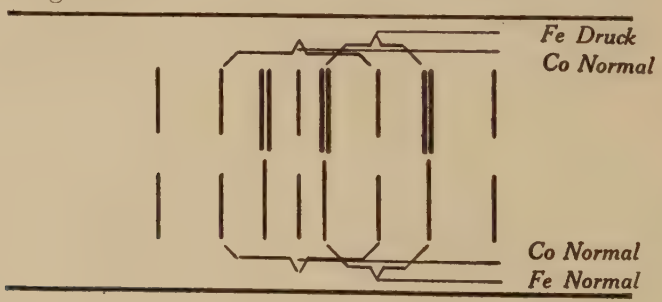

Fig. 6.
Schema einer Aufnahme, fertig zur Messung.

II. Die Messung der Druckverschiebungen.

A. Die okulare Messung.

Für die okulare Messung der Druckverschiebungen verwendete ich das, in der Beschreibung der Apparate erwähnte Messmikroskop. Der Abstand einer normalen Eisenlinie von der nächstliegenden Kobaltlinie wurde gemessen. Die Messung wurde an der druckverbreiterten Eisenlinie und derselben Kobaltlinie wiederholt. Die Differenz der beiden Abstände gibt die Druckverschiebung für $n-1$ Atm., wenn der Druck im Kessel n Atm. betragen hat. An den normalen Linien wurde das Fadenkreuz auf die Mitte der Linienbreite, an den druckverbreiterten Linien auf die Mitte der Selbstumkehr gestellt.

Zur Messung wurde das Andreaskreuz verwendet. Die Linie, welche den grossen Winkel des Fadenkreuzes halbiert, diente als Messlinie, und die Filme wurden so justiert, dass diese Linie zu den zu messenden Spektrallinien parallel war. Auf diese Weise hatte ich gleichzeitig eine Kontrolle über eventuelle Verschiebungen der Filme während der Messung.

Ich führte die Messungen immer bei gleicher Beleuchtung aus (diffuses Tageslicht).

Bestimmung des Messfehlers der okularen Messung.

Um den wahrscheinlichen Fehler der einzelnen okularen Messung zu erhalten, wurde der Abstand einer normalen Eisenlinie von der nächstliegenden Kobaltlinie 30 mal gemessen. Dieselbe Anzahl von Messungen wiederholte ich an der entsprechenden druckverbreiterten Eisenlinie und der zugehörenden Kobaltlinie.

Der Abstand Fe λ 4063 normal — Co λ 4066 normal ergab sich als Mittelwert aus 30 Messungen zu:

3008 Skalenteile am Mikroskop $\pm$ 3 Skt. (wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung).

Fe λ 4063, 6 Atm., — Co λ 4066 ergab als Mittelwert: aus 30 Messungen:

2984 Skt. $\pm$ 5 Skt.

Die Druckverschiebung für 5 Atm. Druckdifferenz beträgt:

24 $\pm$ 6 Skt. am Mikroskop
1 Skt. = 0,0009 ÅE

Die Druckverschiebung umgerechnet in AE ergibt:

0,0212 $\pm$ 0,0054 ÅE

Die Grösse der Druckverschiebung ist bei den, in der Arbeit angewandten Drucken (4—10 Atm.) der Grösse des Druckes proportional. Die gemessenen Verschiebungen wurden daher immer auf die Verschiebung pro 1 Atm. Druckdifferenz umgerechnet, indem ich die gemessene Verschiebung durch $n - 1$ dividierte, wenn der Druck im Kessel n Atm. betragen hatte.

Druckverschiebung für 1 Atm.:
0,0042 ±0,0011 ÅE (wahrscheinlicher Fehler der einzelnen Messung).

Dieselbe Fehlerbestimmung an derselben Eisenlinie wurde wiederholt, indem der Film in entgegengesetzter Richtung ausgemessen wird.

Druckverschiebung für 1 Atm.:

$$0{,}0040 \pm 0{,}0010 \text{ ÅE}$$

Weitere Fehlerbestimmungen an den Linien Fe λ 4045 und Fe λ 4071 ergaben:

$$\pm 0{,}0009 \text{ resp. } \pm 0{,}0012 \text{ ÅE}$$

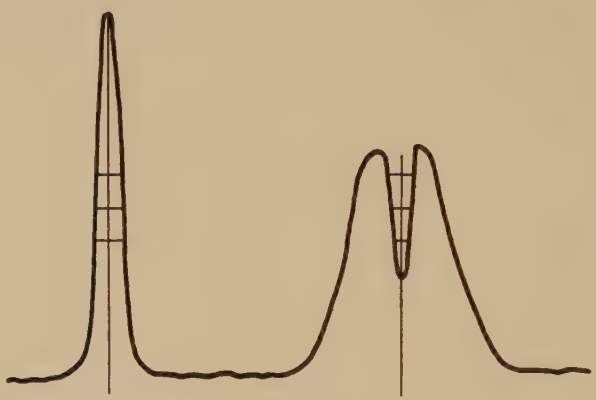

Fig. 7.
Die Bestimmung der Intensitätsmaxima an den Photometerkurven.

Dieselbe Fehlerbestimmung wurde am Photometer durchgeführt. Die wahrscheinlichen Fehler der einzelnen Messung am Mikroskop und am Photometer werden später miteinander verglichen.

B. Die photometrische Messung.

Die Justierung des Photometers.

Alle Einstellungen am Photometer bleiben für die Dauer der Messungen unverändert mit Ausnahme der Höhen- und Neigungsschraube am Photometerschlitten.

Der wichtigste Teil des Justierens besteht in der genauen Parallelstellung der Spektrallinien mit dem Spalt des Thermo-

elementes. Eine Spektrallinie wird in die optische Axe des Photometers gebracht. Der minimale Ausschlag des Galvanometers wird gesucht (Intensitätsmaximum der Linie). Spektrallinie und Spalt sind parallel, wenn sich der Galvanometerausschlag nicht verändert, während die Spektrallinie mit Hilfe der Höhenschraube vertikal auf- und abwärts bewegt wird. Wird der Aus-

Fig. 8.
Fe λ 4045 normal.

schlag des Galvanometers grösser, so wird so lange an der Neigungsschraube korrigiert, bis der Ausschlag seine Minimalstellung genau beibehält. Die Richtigkeit der Justierung wird an einer zweiten Linie geprüft.

Die Ausmessung der Photometerpapiere.

Die Photometerpapiere wurden mit Hilfe einer Mikroschraube und einer festen, mit einer Marke versehenen Glasplatte, ausgemessen. Der Nonius der Schraube gestattet eine Ablesungs-

genauigkeit auf 1/1000 mm. Der Einstellfehler an der Mikroschraube beträgt $\pm$ 0,003 mm. 1 mm auf dem Photometerpapier entspricht 0,036 ÅE.

Fig. 7 zeigt in einer schematischen Darstellung das Vorgehen bei der Ausmessung der Photometerpapiere. Das Intensitätsmaximum der normalen Linien und die Mitte der Selbstumkehr der druckverbreiterten Linien wurden an 3 übereinanderliegenden Stellen der Kurven bestimmt und der Abstand der Mitten gemessen.

Fig. 8 und Fig. 9 zeigen die Photometerkurven der normalen resp. der druckverbreiterten Bogenlinie λ 4045 des Eisens.

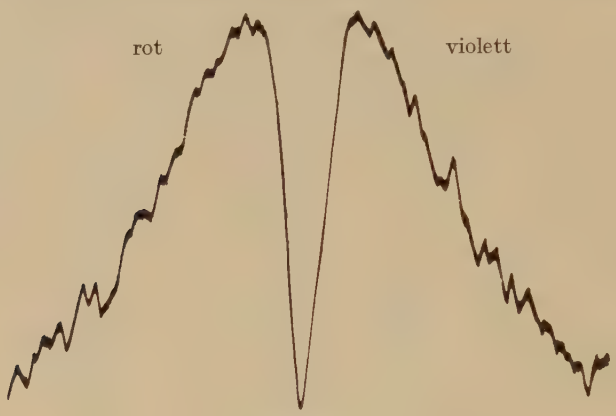

Fig. 9.
Fe λ 4045, 6 Atm.

An der Kurve der druckverbreiterten Linie ist eine schwache Asymmetrie zu erkennen. Der langwellige Ast ist etwas stärker als der kurzwellige.

Bei sonst gleichen Bedingungen untersuchte ich die wahrscheinlichen Fehler bei 3 verschiedenen Photometriergeschwindigkeiten. Es wurden je 6 Photometrierungen von 2 benachbarten Linien bei einer grossen, einer kleinen und einer mittleren Geschwindigkeit des Photometermotors vorgenommen.

Totale Durchgangszeiten für den ganzen Filmausschnitt:

12 Min.	17 Min.	26 Min.

Die wahrscheinlichen Fehler des Abstandes ergaben sich zu:

T	12 Min.	17 Min.	26 Min.
ε	$\pm$ 0,0008	$\pm$ 0,0004	$\pm$ 0,0007 ÅE

Die folgenden Messungen wurden alle mit der Photometriergeschwindigkeit durchgeführt, welche der totalen Durchgangszeit von 17 Minuten entspricht.

Die Linien Fe λ 4063 normal und Co λ 4066 normal wurden 10 mal hintereinander photometriert. Nach jeder einzelnen Photometrierung nahm ich den Film heraus und justierte neu.

Der Abstand der beiden Maxima der Photometerkurven ergab sich zu:

$$75{,}947 \pm 0{,}285 \text{ mm}$$

Dieselbe Aufgabe wurde wiederholt an Fe λ 4063, 6 Atm. und Co λ 4066 normal. Die Messung ergab:

$$74{,}971 \pm 0{,}655 \text{ mm}$$

Die Differenz der beiden Abstände gibt die Druckverschiebung für 5 Atm. zu:

$$0{,}979 \pm 0{,}720 \text{ mm}$$

Die Reduktion der gemessenen Verschiebung auf die Verschiebung pro 1 Atm. und die Umrechnung in ÅE ergibt:

$$0{,}0072 \pm 0{,}0053 \text{ ÅE}$$

Der Fehler ist im Verhältnis zur Grösse der Verschiebung gross.

Werden die normale und die druckverschobene Linie bei *gleicher Justierung* photometriert, so wird der wahrscheinliche Fehler viel kleiner. Die Verschiebung ergab sich bei unveränderter Justierung (verändert wurde nur die Höhenschraube) zu:

$$0{,}0025 \pm 0{,}0005 \text{ ÅE}$$

Weitere Bestimmungen des wahrscheinlichen Fehlers der einzelnen Messung an den Linien Fe λ 4071 und Fe λ 4045 ergaben für ε:

$$\pm 0{,}0006 \text{ resp. } \pm 0{,}0004 \text{ ÅE}$$

Vergleich der wahrscheinlichen Fehler einer einzelnen Messung bei der okularen und photometrischen Messmethode.

Zum Vergleich der Messgenauigkeiten werden die entsprechenden Fehler angegeben. Die Fehler der beiden Methoden wurden an denselben Linien bestimmt.

okular:	$\pm 0{,}0011$ ÅE
photom.	$\pm 0{,}0005$ ÅE

III. Die Resultate.

A. Resultate der okularen Messung.

Die Druckverschiebungen der Linien des folgenden Multipletts des Eisens wurden gemessen:

$$3d^7(^4F)\,4s,\quad a^3F \longrightarrow 3d^7(^4F)\,4p,\ y^3F^0\ ^1)$$

Zugehörige Wellenlängen[2])	Intensität (King)
3969,263	30
4005,250	25
4045,822	60 *r*
4063,604	45
4071,748	40
4132,064	25
4143,874	30

Die Aufnahmen wurden bei Drucken von 4—8 Atm. gemacht. Tabelle 1 gibt die Verschiebungen pro 1 Atm. in ÅE. Alle Verschiebungen sind gegen rot gerichtet.

Tabelle 1.

Druckverschiebungen pro 1 Atm. mit dem Mikroskop gemessen.

3969	4005	4045	4063	4071	4132	4143
0,0051	0,0032	0,0035	0,0024	0,0031	0,0018	0,0015
48	44	28	26	23	21	26
67	50	29	35	26	18	26
39	53	50	24	24	15	17
		27	30	26		
		57				
		32				

Diese Verschiebungen sind die Mittelwerte aus je 20 Messungen. Der wahrscheinliche Fehler dieser Mittelwerte:

$$\pm 0{,}0004 < \varepsilon < \pm 0{,}0008$$

B. Resultate der photometrischen Messung.

Tabelle 2 gibt die photometrisch gemessenen Verschiebungen pro 1 Atm. für die 7 Eisenlinien.

Tabelle 2.

Druckverschiebungen pro 1 Atm. mit dem Photometer gemessen.

3969	4005	4045	4063	4071	4132	4143
0,0050	0,0031	0,0039	0,0035	0,0025	0,0019	0,0020
76	56	46	45	27	20	20
30	34	42	25	17	18	18

Der wahrscheinliche Fehler dieser Druckverschiebungen:

$$\pm 0{,}0004 < \varepsilon < \pm 0{,}0006.$$

[1]) Termbezeichnungen aus Bacher u. Goudsmit, Atomic Energy States, S. 192.

[2]) Wellenlängen und Intensitäten aus Laporte O., ZS. f. Phys. **23**, S. 172, 1924.

C. Vergleich der Mittelwerte aus den okularen und photometrischen Messungen.

Die Mittelwerte aus den okularen und photometrischen Messungen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3.

Die Mittelwerte aus den okularen und photometrischen Messungen.

λ	3969	4005	4045	4063	4071	4132	4143
okular	0,0051	0,0044	0,0037	0,0028	0,0026	0,0018	0,0021
photom.	0,0052	0,0040	0,0042	0,0035	0,0023	0,0019	0,0019

Die okulare und die photometrische Messung an den Linien dieses Multipletts ergeben ein Abnehmen der Grösse der Druckverschiebung mit zunehmender Wellenlänge (Fig. 10).

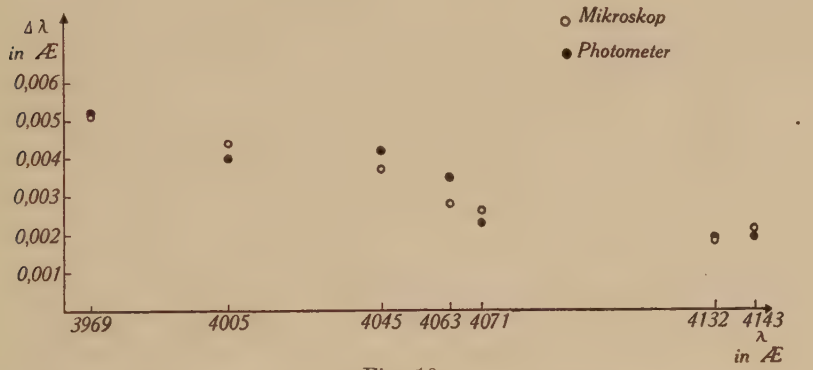

Fig. 10.

Die Abnahme der Grösse der Verschiebung mit zunehmender Wellenlänge.

Die Messung der Druckverschiebungen wurde an den Linien eines zweiten Multipletts wiederholt.

Termbezeichnung: $3d^7(^4F)\,4s,\ a^3F \longrightarrow 3d^7(^4F)\,4p,\ y^3D^0$

Wellenlängen: 3815,844
3827,826
3841,052
3902,950
3966,069 nicht gemessen.

Die Mittelwerte aus den okularen und photometrischen Druckverschiebungsmessungen an diesem Multiplett sind in Tab. 4 zusammengestellt.

Tabelle 4.

Die Mittelwerte der okul. und photom. Messung.

	3815	3827	3841	3902
okular .	0,0086	0,0077	0,0063	0,0026
photom.	0,0091	0,0077	0,0066	0,0031

Die Grösse der Druckverschiebung nimmt mit zunehmender Wellenlänge ab (Fig. 11).

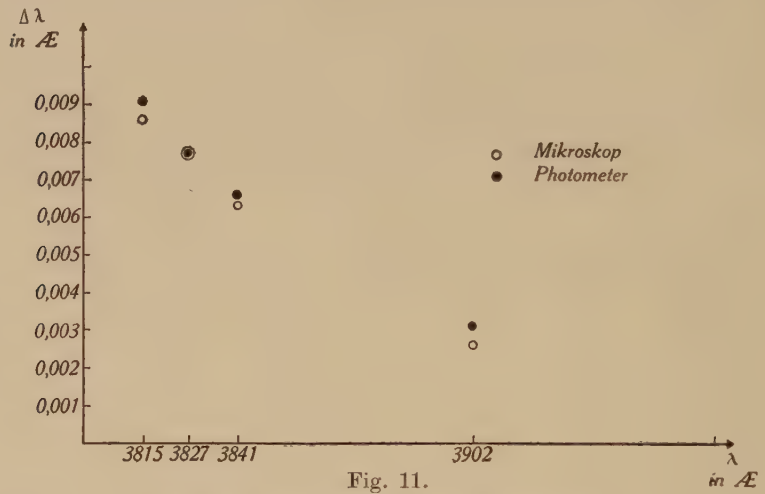

Fig. 11.

Die Druckverschiebungen des 2. Multipletts.

IV. Verschiebungsmessungen an Funkenlinien.

Die Messung der Druckverschiebung wurde an den drei folgenden Funkenlinien des Eisenspektrums durchgeführt:

	λ_{Luft}	Intensität
λ[1]) Luft	4045,99	15
	4063,78	10
	4071,90	8

A. Die okulare Messung.

Die okulare Messung der Druckverschiebung an den 3 Funkenlinien gestaltete sich schwieriger als die Messung an den entsprechenden Bogenlinien. Trotz der grossen Expositionszeit von 2 Std. für das Funkenspektrum unter normalem Druck sind die

[1]) Exner und Haschek, Funkenspektren der Elemente, S. 57, 1902.

Intensitäten der gemessenen Linien so gering, dass die genaue Bestimmung der Intensitätsmaxima der Linien mit dem Mikroskop schwierig war.

Der wahrscheinliche Fehler einer einzelnen okularen Messung der Druckverschiebung an den Funkenlinien ist daher ungefähr 3 mal grösser als der Fehler bei der Messung der entsprechenden Bogenlinien. Er wurde an der Funkenlinie λ 4045 bestimmt und beträgt $\pm$ 0,0029 ÅE bei einer Verschiebung pro 1 Atm. von 0,0095 ÅE (Bogenlinie: $\pm$ 0,0011 bei einer Verschiebung von 0,0042 ÅE).

Die nachfolgenden Verschiebungen (Tab. 5) sind die Mittelwerte aus je 20 Messungen an 2 Filmen bei 6 resp. 5 Atm. Druck im Kessel.

Tabelle 5.

Druckverschiebungen pro 1 Atm. der drei Funkenlinien, okular gemessen.

4045	4063	4071
0,0110	0,0086	0,0072
0,0095	0,0083	0,0068

Der wahrscheinliche Fehler dieser Mittelwerte beträgt:

$$\pm 0{,}0010 < \varepsilon < \pm 0{,}0015$$

B. Die photometrische Messung.

Bei den Verschiebungsmessungen an diesen intensitätsschwachen Funkenlinien erwies sich die photometrische Messung

Fig. 12.
Fe 4045 normal.

der Messung mit dem Mikroskop weit überlegen. Die normalen und die druckverbreiterten Linien ergaben deutliche Schwärzungs-

kurven auf dem Photometerpapier, und der Abstand Funkenlinie-Kobaltlinie konnte durch die photometrische Registrierung mit derselben Genauigkeit ermittelt werden, wie bei den Messungen am Bogenspektrum.

Fig. 12 und Fig. 13 zeigen die Photometerkurven einer normalen, resp. der entsprechenden druckverbreiterten Funkenlinie.

Fig. 13.
Fe 4045, 6 Atm.

Die druckverbreiterten Funkenlinien zeigen im Gegensatz zu den druckverbreiterten Bogenlinien keine Selbstumkehr.

Tab. 6 gibt die photometrisch gemessenen Verschiebungen pro 1 Atm. Die Aufnahmen wurden bei 6—10 Atm. Druck im Kessel gemacht.

Tabelle 6.

Resultate der photometrischen Messung der Druckverschiebung an 3 Funkenlinien des Eisenspektrums.

4045	4063	4071
0,0136	0,0098	0,0076
0,0112	0,0095	0,0074
0,0152	0,0112	0,0092
0,0160	0,0130	—

$$\pm 0{,}0004 < \varepsilon < \pm 0{,}0006$$

In Tab. 7 sind die photometrischen Mittelwerte der Verschiebungsgrössen pro 1 Atm. der Bogen- und Funkenlinien verglichen.

Tabelle 7.

Photometrisch gemessene Mittelwerte der Druckverschiebung von Bogen- und Funkenlinien des Eisenspektrums.

λ	4045	4063	4071
Bogen . .	0,0042	0,0028	0,0026
Funken .	0,0140	0,0108	0,0081

Die Verschiebungen der Funkenlinien sind ungefähr dreimal grösser als die Verschiebungen der entsprechenden Bogenlinien.

Um zu zeigen, dass die Verschiedenheit der Verschiebungsgrössen der Bogen- und Funkenlinien nicht nur ein Temperatureffekt ist, wurde der bereits erwähnte Kontrollversuch über die Linienverschiebung bei einer Temperaturerhöhung um $2{,}0^0$ vorgenommen. Die Verschiebung für $2{,}0^0$ Temperaturdifferenz ergab sich zu 0,016 ÅE gegen violett. Die Temperaturänderung im Gitterzimmer während der Funkenaufnahmen war kleiner als $0{,}2^0$. Nimmt man an, die Grösse der Temperaturverschiebung der Spektrallinien sei der Zunahme der Temperatur proportional, so ergibt sich für $0{,}2^0$ Temperaturdifferenz eine Verschiebung von 0,0016 ÅE. Die gemessenen Druckverschiebungen für 6 Atm. betragen im Durchschnitt 0,052 ÅE, für höhere Drucke entsprechend mehr. Der Einfluss der Temperatur auf die Grösse der Verschiebungen ist daher sehr klein. Ausserdem ist die Temperaturverschiebung der Druckverschiebung entgegengesetzt. Bei den Bogenaufnahmen, die nur kurze Zeit dauerten, war die Temperatur konstant.

Diskussion.

Ein Vergleich der gemessenen Verschiebungen mit den Resultaten früherer Beobachter ist in Tab. 8 zusammengestellt.

Die Abnahme der Grösse der Druckverschiebung mit zunehmender Wellenlänge ergab sich bei den Messungen früherer Beobachter nicht. Errechnet man die mittleren Verschiebungen aus den Verschiebungen der einzelnen Linien, so ergibt sich für die verschiedenen Beobachter:

Babcock	Gale u. Ad.	Duffield	Beglinger
0,0025	0,0028	0,0043	0,0032

Die Druckverschiebungen, welche Babcock gemessen hat, sind wohl am weitgehendsten frei von Poleffekt.

Tabelle 8.

Vergleich mit früheren Beobachtern.

λ	Babcock	Gale u. Ad.	Duffield	Beglinger
3969	0,0025	0,0028		0,0051
4005	33	23		42
4045	21	29	0,0050	39
4063	21	25	50	31
4071	23	26	50	25
4132		30	30	18
4143		34	35	20

Die Aufnahmen sind bei Normaldruck gegen Vakuum bei grosser Bogenlänge gemacht. Andererseits ist zu bemerken, dass die Messung der geringen Verschiebung für weniger als 1 Atm. schwieriger ist, als die Messung einer ca. sechsmal grösseren Verschiebung.

Die Arbeit von Gale und Adams enthält keine Angaben über die Bogenlänge, so dass diese Resultate nicht unmittelbar zum Vergleich herangezogen werden können.

Die Messungen von Duffield[1]) wurden alle bei kleiner Bogenlänge ausgeführt, die Resultate sind vom Poleffekt weitgehend beeinflusst.

Auffallend ist bei meinen Messungen der grosse Unterschied zwischen den Verschiebungen der Bogen- und Funkenlinien. Dass die Temperaturunterschiede im Gitterzimmer für diese grossen Abweichungen nicht verantwortlich gemacht werden können, wurde gezeigt. Ein Grund für die Verschiedenheit kann in der asymmetrischen Verbreiterung der Linien unter Druck liegen. Der rote Ast der aufgespaltenen Bogenlinien ist stärker als der violette. Die Funkenlinien zeigen keine Selbstumkehr und sind symmetrisch. Nimmt man an, die druckverbreiterte Funkenlinie erleide ebenfalls eine asymmetrische Verbreiterung gegen rot wie die Bogenlinie, so ergibt sich bei der Messung der Funkenlinien eine zu grosse Rotverschiebung. Ein weiterer Grund für die Unterschiede der Verschiebungsgrössen kann in der Verschiedenheit der Grösse der Bogenlänge und Funkenstrecke liegen.

[1]) Duffield, Trans. Roy. Soc. **208**, S. 111, 1908.

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit werden die okulare und die photometrische Methode zur Messung der Verschiebungen von Spektrallinien verglichen.

Die Druckverschiebungen der Bogenlinien zweier Eisenmultipletts und die Druckverschiebungen von Funkenlinien des Eisenspektrums werden mit Hilfe beider Methoden gemessen.

Die Untersuchungen wurden unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. A. Hagenbach im Physikalischen Institut der Universität Basel ausgeführt. Meinem hochverehrten Lehrer danke ich herzlich für die mannigfachen Anregungen. Er hat meiner Arbeit stets lebhaftes Interesse entgegengebracht und sie durch wertvolle Ratschläge gefördert.

Basel, physikalische Anstalt.

Curriculum vitae.

Ich, Erwin Beglinger, von Mollis (Kt. Glarus), wurde am 3. Januar 1908 als Sohn des Rudolf Beglinger, Primarlehrer, und seiner Gattin Selma, geb. Baier, in Hölstein geboren, wo meine Eltern noch heute leben.

Von 1914—1920 besuchte ich die Primarschule in Hölstein, 1920—1923 die Bezirksschule Waldenburg und trat nachher in die Obere Realschule Basel ein. Im April 1927 bestand ich das Maturitätsexamen.

Ich studierte an der Universität Basel Physik, Geologie, Geographie und Mathematik.

Im Herbst 1930 bestand ich die Fachexamen für Mittellehrer in den Fächern Physik, Geographie und Mathematik, im Frühling darauf das pädagogische Lehrerexamen.

Ich besuchte Vorlesungen und Praktika der folgenden Dozenten: P. Buchner, A. Buxtorf, H. Erlenmeyer, F. Fichter, R. Flatt, P. Häberlin, A. Hagenbach, F. Jaeger, W. Matthies, H. Mohrmann, A. Ostrowski, H. Rupe, O. Spiess, H. Veillon, P. Vosseler, M. Wehrli, H. Zickendraht.

Die vorliegende Arbeit ist entstanden auf Anregung und unter der Leitung von Prof. Dr. A. Hagenbach. Meinen Lehrern, insbesondere Herrn Prof. Dr. A. Hagenbach, danke ich für ihr Interesse und ihre Anregungen, die mir während meines Studiums zuteil wurden.